

^{137}Cs 示踪技术在黑土区农业非点源 污染负荷研究中的应用

杨育红^{1,2}, 阎百兴¹, 沈 波³, 曹会聪¹

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2 华北水利水电学院
河南, 郑州 450011; 3 水利部松辽水利委员会, 吉林 长春 130021)

摘要: 利用 ^{137}Cs 核素示踪和定位监测相结合, 研究松嫩平原黑土区 3 个旱作坡面土壤的流失厚度和流失速率, 坡面土壤流失厚度 1.20~5.25 mm/a 侵蚀强度 1.355.0~7.558.2 t/(km²·a); 近 40 a 来, 松嫩平原黑土区年均入河(湖)农业非点源污染负荷分别为 TN 1.43 t/(km²·a)、NH₃⁻N 15.01 kg/(km²·a)、NO₃⁻N 8.51 kg/(km²·a) TP 0.42 t/(km²·a)、PO₄³⁻-P 1.85 kg/(km²·a); 土壤流失氮以有机氮为主; 水溶态无机氮占总氮的 0.5%, 水溶性磷酸盐磷占总磷的 0.12%。黑土区农业非点源污染物的输出和水土流失密切相关, 深入研究其输移机理及防治措施具有重要的环境意义。

关键词: ^{137}Cs ; 氮; 磷; 坡耕地; 土壤侵蚀

中图分类号: S157.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-0690(2010)01-0124-05

水资源是最宝贵的基础性自然资源。30 a 环境保护政策的实施, 点源污染控制取得了明显进展, 但水环境污染问题依然严峻。美国国家水质评价报告显示, 非点源是美国地表水污染的主要污染源, 河流长度的 48%、湖泊面积的 41% 受农业非点源污染的影响。而地表径流引起的土壤侵蚀和氮、磷等养分的流失, 既导致土壤质量的退化, 又是农业非点源污染的重要发生形式^[1]。表面上看, 土壤侵蚀导致了土壤表层有机质的流失, 但同时, 许多物质随土壤侵蚀进入水体, 形成严重的非点源污染^[2]。因此, 农田土壤中残留的化学肥料、农药等农用化学品随地表径流的迁移问题, 既是农业生产经济问题, 又是水体质量问题^[3]。土壤侵蚀引起的农业非点源污染成为全球关注的焦点。

国内外非点源污染负荷的量化研究主要通过 2 种方法来实现。一是实际监测, 通过同步监测试验小区或小流域的径流量与水质, 建立非点源污染物输出负荷与水文参数的定量关系。有输出系数法^[4]、水质水量相关关系法^[5]、平均浓度法^[6]等; 二是模型模拟, 常用的模型有 HSPF、ANSWERS、CREAMS、GLEAMS、EPIC、SWAT^[7]、AGNPS^[8]等, 两种方法各有优劣。 ^{137}Cs 核素示踪技术以操作简

单, 节约人力、时间等优势逐渐由估算湖泊沉积物负荷转而于评价土壤侵蚀速率^[9,10]; 在东北, ^{137}Cs 主要用于研究坡耕地黑土的侵蚀和沉积速率^[11]、土壤再分布^[12]及黑土侵蚀速率对土壤质量的影响^[13,14]等, 在农业非点源污染负荷研究中的应用鲜有报道。本文以松嫩平原黑土区为研究对象, 运用 ^{137}Cs 示踪法与野外定位监测相结合的方法, 探讨了农业非点源污染物吸附态和水溶态的输出负荷, 以期为流域水污染控制和保护黑土资源提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

松嫩平原黑土区是中国重要的商品粮生产基地, 总面积 42 909 km², 分别占松嫩平原和东北黑土区总面积的 18.1% 和 72.7%。黑土有机质含量较高, 垦殖前可达 7%~10%, 黑土层厚度为 40~100 cm; 经过 200 余年垦殖, 坡度较大或耕作较久的地方, 黑土层的厚度仅剩 20~40 cm, 有些仅 10 cm, 甚至出现了“破皮黄”或“露地黄”^[13]。2004~2005 年调查的典型黑土区 949 个剖面中, 48.6% 剖面黑土层厚度 ≤40 cm, 在黑钙土-草甸土区 27

收稿日期: 2009-05-22 修订日期: 2009-09-12

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2007CB407205)、中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW-09-13)资助。

作者简介: 杨育红(1971-), 女, 河南焦作人, 博士研究生, 研究方向非点源污染与防治, E-mail yangyuhong1971@163.com

通讯作者: 阎百兴(1965-), 男, 博士, 研究员, 主要从事水污染及其控制、水土流失的环境效应研究, E-mail yanbx@163.com

个剖面中,黑土层厚度 ≤ 20 cm 的剖面占 51.8%,黑土层厚度 ≤ 40 cm 的占 74.0%^[15]。黑土分布区坡面平缓(坡度多在 5° 以下),极易遭受侵蚀。母质以粗粉沙、粘粒为主,具有黄土特性,表层疏松,抗蚀抗冲能力差;土壤颗粒分散,胶结性降低;长达6个月土壤冻层的存在,降低融雪径流入渗;夏季降雨集中等因素,加剧土壤流失^[16]。自然状态下形成 1 cm 黑土层需要 120~400 a 时间,所以已有东北黑土将在未来 50 a 内消失的警示^[13]。研究区土地开垦时间为 150~200 a 降雨量 500~600 mm/a 以种植玉米为主,1 a 年 1 熟,每年 4 月底翻地一次。

研究区 D 位于黑土区中南部,是吉林省德惠市达家沟镇八家庙村内一簸箕形缓坡地($125^\circ 51' 42'' \sim 125^\circ 51' 47''\text{E}$, $44^\circ 42' 52'' \sim 44^\circ 42' 57''\text{N}$),坡长 230 m,为典型的薄层黑土分布区,坡面坡度在 $3\sim 5^\circ$,长期采用顺坡垄耕,夏季强降雨产生的坡面径流沿垄沟自南、北、西三侧向坡底汇流,在坡底汇合后折向东流,坡底有宽约 3 m、深约 1 m 的冲蚀沟。

研究区 S 为吉林省德惠市松花江镇西、铁路东的坡地($125^\circ 54' 36'' \sim 125^\circ 54' 40''\text{E}$, $44^\circ 45' 24'' \sim 44^\circ 45' 38''\text{N}$),坡长 475 m,坡面坡度在 $3\sim 8^\circ$,长期采用斜垄耕作,坡面径流沿垄沟向坡中低处汇流,并在坡中汇集形成切沟,水流自东而西沿切沟流下。

研究区 G 位于黑土区的北部,是黑龙江省海伦市谷家店村一向阳坡地($126^\circ 51' 39'' \sim 126^\circ 51' 54''\text{E}$, $47^\circ 23' 00'' \sim 47^\circ 22' 50''\text{N}$),坡长 319 m,坡面坡度在 $2\sim 5^\circ$,长期采用顺坡垄耕,坡面径流沿垄沟自北向南顺坡而下,坡底有一自西向东的冲蚀沟。

1.2 研究方法

1) 样品采集与分析。在 3 个研究区的坡地,沿坡向直线选择样点,采集耕层土壤,共有 9 个剖面样品(D1-D3 S1-S3 G1-G3),每个样品约为 2 000 g 研究区 D、S 样品采集于 2002 年 10 月(秋收后),研究区 G 样品采集于 2007 年 9 月。样品在实验室自然风干后,去除植物残体和碎石、瓦砾、煤灰渣等,研碎后充分搅拌使之混合均匀。根据不同分析项目要求,测定 ^{137}Cs 活度的部分过 10 目筛,称取约 400 g 装入聚乙烯袋内;测定其它项目的土壤样品分别过 1Q 4Q 6Q 100 目筛,各称取约 50 g 装入纸袋内,待测。

研究区 D、S 的 ^{137}Cs 活度样品由四川大学核物理实验室采用 HPG γ 能谱仪 GEM-40190 型测

定,研究区 G 样品的 ^{137}Cs 活度由北京师范大学地理学与遥感科学学院采用美国 ORTEC 公司生产的 GMX5094N 型高纯锗 γ 探测器进行测定。样品的比活度采用与标准源相对比较法求得,标准误差计算采用 95% 置信度。四川大学与北京师范大学两地探测结果仅相差 1%,可以认为土壤样品的 ^{137}Cs 活度准确可靠。

土壤容重与氮、磷各形态指标在中国科学院东北地理与农业生态研究所湿地生态与环境开放实验室测定,其中土壤容重采用环刀法;土壤全氮(TN)采用氏消煮法、硝氮(NO_3^--N)采用镀铜镉还原-重氮化偶合比色法、氨氮(NH_3-N)采用氯化钾溶液浸提法、全磷(TP)采用酸溶钼锑抗比色法;水溶性氨氮采用纳氏试剂比色法、硝氮采用酚二磺酸分光光度法、磷酸盐磷采用钼锑抗比色法测定。

土壤水浸提液的制备:取风干土样 50 g 按水土比 2.5:1 加入蒸馏水,往复式振荡 60 min,静置 12 h 后,以 3 000 rpm 的速度离心 20 min,过滤清液即为土壤水浸提液,用于测定水溶性氨氮、硝氮和磷酸盐磷。

2) 土壤侵蚀量计算方法。 ^{137}Cs 是核爆产生的人工放射性同位素,半衰期 30.17 a 大气中的 ^{137}Cs 核尘埃来源于大气层核试验和核泄漏。核试验产生的 ^{137}Cs 尘埃能够进入平流层,伴随大气环流在全球范围内分布。 ^{137}Cs 尘埃主要随大气干湿沉降到地面,随即迅速被土壤胶体颗粒强烈吸附,基本不被植物摄取和淋溶流失,其在土壤剖面中的损失与富集主要伴随土壤颗粒的物理运动而发生再分布。因此, ^{137}Cs 是研究土壤侵蚀和非点源污染负荷的良好示踪剂。

农耕地土壤年侵蚀厚度采用 ZHANG 等^[17]提出的质量平衡模型。其模型为:

$$C = C_{ref} (1 - hH)^{T-1963} \quad (1)$$

土壤侵蚀模数采用公式:

$$M = 10\,000 \times G \times h \quad (2)$$

式中, C 为侵蚀剖面 ^{137}Cs 的活度 (Bq/m^2); C_{ref} 为土壤 ^{137}Cs 本底值 (Bq/m^2); h 为年均土壤侵蚀厚度 (cm); H 为年均犁底层深度 (cm); T 为采样年份; M 为土壤侵蚀模数, $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$; G 为土壤容重, g/cm^3 。

研究区 D、S 的采样时间为 2002 年,耕层深度 25 cm, ^{137}Cs 背景值采用 $2\,463.64 \text{ Bq}/\text{m}^2$ ^[18]; 研究区 G 的采样时间在 2007 年,耕层深度 20 cm, ^{137}Cs

背景值采用 $1\ 996\ 82\ \text{Bq/m}^2$ 。

3) 农业非点源污染负荷计算。应用公式 (1)、(2) 计算研究区单位面积的土壤流失量与污染物浓

度相乘, 得到农业非点源污染物年平均负荷。流失土壤主要集中在表层 (0~5 cm), 故表层土壤中 N、P 浓度代表流失土壤中非点源污染物的 (表 1)。

表 1 土壤表层 (0~5 cm) 中污染物浓度 (mg/kg)

Table 1 Concentrations of pollutants in surface soil (0-5 cm) (mg/kg)

采样点	TN	TP	吸附态		水溶态	
			($\text{NH}_3\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$)	$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$	($\text{NH}_3\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$)	$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$
D1	1938.14	442.45	26.24	2.92	11.07	0.42
D2	1700.80	476.06	44.20	4.72	3.56	2.02
D3	1833.88	442.72	27.51	2.29	8.65	1.05
S1	1777.08	402.38	54.63	1.24	8.37	0.48
S2	2236.65	458.98	39.75	1.91	12.28	0.41
S3	1617.90	450.91	51.64	2.83	12.27	0.39
G1	1686.50	523.16	11.55	3.18	5.91	0.15
G2	1098.49	494.59	6.40	2.28	4.90	0.07
G3	1750.25	562.86	12.12	1.34	7.93	0.12

2 结果与讨论

2.1 土壤侵蚀量评价

表 2 列出了研究坡面上各点 ^{137}Cs 活度和土壤侵蚀模数。从坡顶到坡脚, 土壤剖面中 ^{137}Cs 活度总体上呈增加趋势, 坡顶略高于坡中段。土壤侵蚀强度则与 ^{137}Cs 活度的分布规律相反。这是因为上部侵蚀部位径流对下部侵蚀部位的侵蚀具有增强作用, 造成侵蚀强度的沿程增强。侵蚀强度大, 土壤流失多, 土壤颗粒吸附的 ^{137}Cs 流失也多, 土壤剖面中保存的 ^{137}Cs 自然就少。根据《黑土区水土流失防治技术标准》(SL446-2009), 研究区土壤侵蚀属于轻度-剧烈侵蚀水平。

表 2 坡面土壤 ^{137}Cs 活度分布及土壤流失量

Table 2 Soil losses and distribution of caesium-137 inventory from slope land

采样点	距坡顶 (m)	坡度 (°)	容重 (g/cm^3)	^{137}Cs 活度 (Bq/m^2)	侵蚀模数 [$\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$]
D1	5	3	0.96	1499.45	3033.6
D2	100	5	0.91	1246.05	3940.3
D3	150	4	0.88	1267.44	3713.6
S1	320	7	1.08	1129.77	5346.0
S2	170	5	1.09	1471.76	3575.2
S3	50	3	1.11	1779.42	2308.8
G1	25	2	1.13	1530.82	1355.0
G2	125	3	1.44	618.86	7558.2
G3	300	3	1.34	790.61	5579.4

2.2 单位面积上农业非点源污染负荷

研究区吸附态输出的无机氮 ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_3\text{-$

N) 占 TN 的比例平均为 1.72%, 黑土中流失的非点源氮以有机氮为主, 与多数地区非点源有机氮占 TN 97% 以上的规律一致。吸附态 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 占 TP 的 0.54%, 说明非点源 P 中, 有机态所占的比例更高。

与吸附态 N、P 相比, 水溶态 N、P 所占更低, 其中无机氮占总氮的比例平均为 0.51%, 水溶性磷酸盐磷占总磷的 0.12%。但是水溶态 N、P 作为水土中的活性部分, 不仅在降雨-径流的驱动下易于迁移, 而且进入水体后对水质的影响很大。因此, 流域非点源污染物中水溶性氮磷的输出研究具有重要的环境意义。

黑土区河网密度相对较低, 河道输沙量小是黑土区土壤侵蚀的鲜明特点。流域内侵蚀的土壤只有少部分可到达流域出口, 大部分沉积在坡底或低洼平缓的部位, 远离河网的高土壤侵蚀地区对河流沉积物的贡献不会多于河流附近的低侵蚀区^[19]。故按侵蚀土壤中 20% 的污染物最终进入地表水计算流域非点源污染物的输出负荷^[20] (表 3)。

黑土区单位面积上非点源污染物输出负荷 TN 低于巢湖流域农田负荷 [$2\ 16\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$]; 与滇池流域农田负荷 [$1\ 22\sim 1\ 36\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$]^[21]、美国明尼苏达州玉米田负荷 [$1\ 95\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$]^[22]、土耳其伊斯坦布尔近郊农田负荷 [$1\ 0\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$] 接近^[23]; 高于欧洲农田负荷 $0\ 5\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 和瑞典南部进入波罗的海的负荷 $0\ 517\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ^[24]。单位面积上非点源污染物 TP 的输出负荷与巢湖流域农田的负荷 $0\ 33\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 和滇池流域农田的

表 3 松嫩平原黑土区土壤侵蚀厚度及单位面积非点源污染物吸附态氮磷流失量

Table 3 Absorbed nitrogen and phosphorus losses and soil erosion depth in Songnen Plain

采样点	侵蚀厚度	TN	$\text{NH}_3 - \text{N}$	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	TP	$\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$
	(cm/a)	[t/(km ² ·a)]	[kg/(km ² ·a)]	[kg/(km ² ·a)]	[t/(km ² ·a)]	[kg/(km ² ·a)]
D1	0.316	1.18	9.17	6.75	0.27	1.77
D2	0.433	1.34	20.06	14.78	0.38	3.72
D3	0.422	1.36	15.95	4.48	0.33	1.70
S1	0.495	1.90	45.62	12.79	0.43	1.32
S2	0.328	1.60	22.82	5.60	0.33	1.37
S3	0.208	0.75	13.96	9.88	0.21	1.31
G1	0.120	0.46	0.75	2.38	0.14	0.86
G2	0.525	1.66	5.25	4.43	0.75	3.45
G3	0.417	1.95	3.99	9.53	0.63	1.50
面积加权平均值	0.367	1.43	15.01	8.51	0.42	1.85

负荷 $0.2 \sim 0.7 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ [21] 接近, 高于欧洲农田的负荷 $0.03 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 和土耳其伊斯坦布尔近郊农田的负荷 $[0.03 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})]$ [23]。黑土区单位面积上非点源污染物 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的输出负荷高于美国农业区的负荷 $5.7 \text{ kg}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ [22]。

目前, 中国粮食生产仍面临严峻形势, 而松嫩平原作为中国粮食增产潜力较大的地区, 化肥、农药的施用量将大幅度增加 [25]; 另外, 东北地区土地利用/土地覆盖的变化使生态环境遭到破坏, 特别是松嫩平原西部和黑土带, 生态退化严重, 盐碱、风沙加剧, 水土流失面积继续扩大, 黑土带一些地区耕层土壤厚度已经剥蚀掉 $2/3$, 势必加剧农业非点源污染。农田系统优质表层土壤的流失将给人类生存环境带来巨大破坏 [26, 27]。

3 结 论

1) 松嫩平原黑土区侵蚀厚度 $0.120 \sim 0.525 \text{ cm/a}$, 侵蚀强度 $1.355 \sim 7.558 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 属于轻度—剧烈侵蚀水平。

2) 近 40 a 来, 松嫩平原黑土区单位面积年均输入河流或湖泊水体中的农业非点源污染较高。水溶态氮磷应成为农业非点源污染研究的重要内容。

3) ^{137}Cs 示踪技术可用于计算土壤侵蚀造成的农业非点源污染负荷, 为区域水土保持、水环境规划提供科学依据。

参考文献:

- [1] Novotny V. Diffuse pollution from agriculture— a worldwide outlook [J]. 1999, 39(3): 1~13
- [2] 贺缠生, 傅伯杰, 陈利顶. 非点源污染的管理及控制 [J]. 环境科学, 1998, 19(5): 87~91
- [3] 王 辉, 王全九, 邵明安. 表层土壤容重对黄土坡面养分随径流迁移的影响 [J]. 水土保持学报, 2007, 21(3): 10~13.
- [4] Omerink JM. The influence of land use on stream nutrient levels [R]. Washington DC: USEPA, 1976
- [5] 洪小康, 李怀恩. 水质水量相关法在非点源污染负荷估算中的应用 [J]. 西安理工大学学报, 2000, 16(4): 384~386.
- [6] 蔡 明, 李怀恩, 刘晓军. 非点源污染负荷估算方法研究 [J]. 人民黄河, 2007, 29(7): 36~37.
- [7] Amold J G, Srinivasan R, Mutiah T et al. Large area hydrologic modeling and assessment part II: model application [J]. Journal of the American Water Resources Association, 1998, 43(1): 91~101
- [8] Young R, Onstad C, Bosch D, et al. AGNPS, Agricultural nonpoint source pollution model—a watershed analytical tool [R]. Conservation Research Report No. 35. Washington D C: USDA, 1987
- [9] 刘 刚, 杨明义, 刘普灵, 等. 近十年来核素示踪技术在土壤侵蚀研究中的应用进展 [J]. 核农学报, 2007, 21(1): 101~105.
- [10] 张 燕, 邓西海, 陈 捷. 基于 ^{137}Cs 计年法估算滇池沉积物重金属负荷 [J]. 地理科学, 2007, 27(2): 261~267.
- [11] 方华军, 杨学明, 张晓平, 等. ^{137}Cs 示踪技术研究坡耕地黑土侵蚀和沉积特征 [J]. 生态学报, 2005, 25(6): 1376~1383.
- [12] 方华军, 杨学明, 张晓平, 等. 利用 ^{137}Cs 技术研究黑土坡耕地土壤再分布特征 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(3): 464~468.
- [13] 阎百兴, 汤 洁. 黑土侵蚀速率及其对土壤质量的影响 [J]. 地理研究, 2005, 24(4): 499~506.
- [14] 刘宝元, 阎百兴, 沈 波, 等. 东北黑土区农地水土流失现状与综合治理对策 [J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(1): 1~8
- [15] 阎百兴, 沈 波, 刘宝元. 中国水土流失防治与生态安全 (东北黑土区卷) [M]. 北京: 科学出版社, 2008, 62~63.
- [16] 张晓平, 梁爱珍, 申 艳, 等. 东北黑土水土流失特点 [J]. 地理科学, 2006, 26(6): 687~691.
- [17] Zhang X B, Higgitt D L, Walling D E. A preliminary assessment of potential for using cesium-137 to estimate rates of soil erosion in the Loess Plateau of China [J]. Hydrological Science Journal

- 1990 **35**(3): 243–252.
- [18] 阎百兴, 汤 洁. 东北黑土中¹³⁷Cs背景值研究 [J]. 水土保持学报, 2004 **18**(4): 33~ 36.
- [19] Stefano C D, Ferro V, Porto P. Length slope factors for applying the Revised Universal Soil Loss Equation at basin scale in Southern Italy [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2000 (75): 349–364.
- [20] 阎百兴. 松嫩平原农业非点源污染研究 [R]. 长春: 吉林大学博士后出站报告, 2004: 40~ 41.
- [21] 金相灿. 中国湖泊环境 (第三册) [M]. 北京: 海洋出版社, 1995: 46~ 51.
- [22] 吴珊眉. 现代化农田生态系统氮素来源和去向的数量特征 [J]. 生态学杂志, 1986, **5**(2): 45~ 48.
- [23] Tank A, Baykal Beler B, Gonenc IE. The impact of agricultural pollutants in six drinking water reservoirs [C]. // Vama C V, J Rao A R G, Kaushish S P. Water quality and its management International specialized conference on water quality and its management New Delhi, 1998: 14–20.
- [24] Arheimer B. 瑞典南部集水区 N 素迁移和滞留的建模 [J]. AMBIO – 人类环境杂志, 1998, **27**(6): 471~ 480.
- [25] 程叶清, 张平宇. 中国粮食生产区的区域格局变化及东北商品粮基地的响应 [J]. 地理科学, 2005, **25**(5): 513~ 520.
- [26] 韩晓增, 王守宇, 宋春雨, 等. 土地利用 / 土地覆盖变化对黑土生态环境的影响 [J]. 地理科学, 2005, **25**(2): 203~ 208.
- [27] 刘殿伟, 宋开山, 王丹丹, 等. 近 50 年来松嫩平原西部土地利用变化及驱动力分析 [J]. 地理科学, 2006 **26**(3): 277~ 283.

Agricultural Nonpoint Source Pollution Loads Prediction Using Caesium-137 Tracing Technique in Black Soil Region, Northeast China

YANG Yu-hong^{1,2}, YAN Baixing¹, SHEN Bo³, CAO Huicong¹

(1 Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130012;

2 North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou, Henan 450011; 3 Songliao Water

Resources Commission, Ministry of Water Resources, Changchun, Jilin 130021)

Abstract The Songnen Plain in Northeast China is an important base of cash grain and soybean in China. Nonpoint source nutrient loads (TN, TP, NH₃-N, NO₃⁻-N, PO₄³⁻-P) to the water bodies were estimated using ¹³⁷Cs nuclear tracing technique and field monitoring method. The annual mean erosion thickness of black soil in the typical sbps is within 0.120–0.525 cm, and the erosion intensity is 1355.0–7558.2 t/km² in last 40 years. The annual mean values of pollution loads per square kilometer were TN 1.43 t, NH₃-N 15.01 t, NO₃⁻-N 8.51 t, TP 0.42 t, PO₄³⁻-P 1.85 t, respectively. Water dissolved inorganic nitrogen and phosphorus accounted for 0.51% of total nitrogen, and 0.12% of total phosphorus. Caesium-137 tracing technique is an alternative to traditional methods.

Key words caesium-137, nitrogen, phosphorus, slope land, soil erosion